

Abschlussbericht

ZE: Fresnel Optics GmbH	Förderkennzeichen: 13N8762
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Nanostrukturierte Oberflächen für Multimedia und Visualisierung (NAOMI) Teilvorhaben: Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten mikrooptischen Komponenten	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2005 – 31.03.2008	
Berichtszeitraum: 01.04.2005 - 31.12.2005 (Ende Finanzierung des Projektes Okt.2005)	

1. Aufgabenstellung und Ziele

1.1 Motivation und Aufgabenstellung

Fresnel Optics ist als Hersteller von optischen Komponenten stets daran interessiert mit neuen innovativen Produkten für eine volumenstarke Optikfertigung den Standort Apolda zu sichern. Im Rahmen des Verbundprojektes sollten innovative Darstellungstechniken für Visualisierung entwickelt werden, deren optische Systeme sich in ihrem Design und ihrer Herstellung an der Grenze des Realisierbaren bewegen. Die Lösung der Projektaufgabe war nur mit dem Einsatz von funktional verschieden nanooptisch, nanoskalig bzw. nanometergenau hergestellten Strukturen denkbar.

Mit den immer größer werdenden Anforderungen an optische Systeme, bedingt durch den ausgeprägten Wettbewerb auf dem internationalen Markt, müssen innovative technische Lösungen gefunden und erforscht werden, die Qualitäts- und Preisvorteile garantieren. In der Mitarbeit im Verbundprojekt hat Fresnel Optics die Möglichkeit gesehen, Herstellungsprozesse für nanostrukturierte Komponenten aufzubauen und somit die optischen Eigenschaften von Systemen wesentlich zu verbessern und bezogen auf das Projekt, die Realisierung der Demonstratoren zu ermöglichen. Für die optischen Elemente in den Demonstratoren, speziell in den Beleuchtungssystemen, wurden thermisch und mechanisch stabile Entspiegelungsschichten für asphärische, diffraktive oder andere komplexe Elemente angestrebt. So sollten Möglichkeiten erforscht werden, nanostrukturierte Entspiegelungsschichten, so genannte Mottenaugenstrukturen, auf den unterschiedlichsten Oberflächen wie konkaven und konvexen Sphären, Asphären oder Linsenarrays abzuformen. Als Alternative zu holografisch hergestellten Mottenaugenstrukturen sollte die Reflexminderung durch mittels Ionenbeschuss hergestellten AR-Strukturen untersucht werden.

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Aufgrund der hohen Anforderungen an die optischen Komponenten ergibt sich die Notwendigkeit, Masteringprozesse, Replikationstechnologien und Prüftechniken für nanostrukturierte optische Elemente, unter Berücksichtigung der späteren Verwertbarkeit, zu erforschen.

Zur Replikation der verschiedenen nanostrukturierten optischen Komponenten sollten unterschiedliche Verfahren analysiert werden, welche Performance- und Kostenaspekte berücksichtigen. Dabei ist die Abhängigkeit vom Substratmaterial, bzw. vom Material der nanostrukturierten Fläche entscheidend. Der geplante wissenschaftliche und technischen Ablauf bzw. die Projektziele von Fresnel Optics lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erforschung und Optimierung des Masteringprozesses zur Erzeugung von AR-Strukturen auf verschiedenen gekrümmten optischen Elementen durch Plasmastrukturierung
- Wenn möglich Kopieren aller Masterstrukturen mittels Galvanoformung
- Untersuchung und Optimierung verschiedener Replikationstechnologien für Polymeroptiken
- Realisierung eines Prozesses zur kostengünstigen und genauen Replikation von Nanostrukturen auf gekrümmten oder mikrostrukturierten Oberflächen
- Erforschung und Entwicklung eines Replikationsprozesses zur Erzeugung von diffraktiven Strukturen mit hohem Aspektverhältnis (Polarisationselemente) mittels Heißprägetechnologie oder Spritzguss in Polymersubstraten.

1.3 Stand der Wissenschaft und Technik

Eigene Vorarbeiten

Auf dem Gebiet der Herstellung von mikrostrukturierten Optikkomponenten hat sich Fresnel Optics in den letzten Jahren zu einem Marktführer entwickelt. Im Produktspektrum der Firma, das u.a. diverse Fresnellinsen für Overhead Projektoren, strukturierte Bauteile für Display- und Beleuchtungstechnik sowie Bauteile mit Mottenaugenstruktur umfasst, spiegelt sich die Vielfältigkeit des Unternehmens wieder.

Die Basistechnologien von Fresnel Optics sind Optik Design, Präzisionsabformung optischer Kunststoffe mit verschiedenen Verfahren sowie produktveredelnde Prozesse. Die Werkzeugherstellung mittels Präzisions-Diamant-Schneiden und anschließender galvanischer Abformung ist in einem verbundenen Unternehmen (Precision Technology Center) in den USA angesiedelt. Bei der Präzisionsabformung optischer Kunststoffe haben sich vor allem verschiedene Heißprägeverfahren, Spritzgusstechnik und UV-Reaktionsguss etabliert. Große Bedeutung hat das Heißprägen von Nanostrukturen mit derzeit erreichten Auflösungen bis zu 100nm erlangt. Anwendung findet diese Technologie z.B. bei der großflächigen Abformung von Mottenaugenstrukturen, für die Fresnel Optics im Jahr 2000 den Thüringer Innovationspreis erhielt. Die Technologie der Nanostrukturierung von Oberflächen durch Heißprägen zur Reduzierung von Reflexen hat gegenüber den klassischen Entspiegelungsverfahren, wie aufgedampfte Interferenzschichtsysteme, deutliche Vorteile. Durch Einbringen der AR-Struktur direkt in den Kunststoff werden zum Beispiel Haftfestigkeitsprobleme, die man von der Vakuumbeschichtung von Kunststoffen kennt, von vornherein ausgeschlossen. Außerdem ist der Prozess wesentlich kostengünstiger als die Beschichtung im Vakuum.

Ende 2004 hat Fresnel Optics eine neue plasmaunterstützte Beschichtungsanlage in Betrieb genommen. Diese Anlage sollte im Rahmen des Projektes zum Einsatz kommen zur Erzeugung von Mastersubstraten für die Herstellung von Werkzeugen zur Abformung von AR-Strukturen.

Das neuartige Verfahren zur Erzeugung von AR-Strukturen mittels Ionenbeschuss und erste Untersuchungen zur anschließenden galvanischen Abformung der so erzeugten Master wurden bereits durchgeführt.

Forschungs- und Entwicklungsprojekte, vor allem die Zusammenarbeit mit Partnern in einem Verbundprojekt, sind für Fresnel Optics eine wichtige Möglichkeit zur Technologie- und Produkterweiterung.

Durch Projektarbeit konnte die Technologie des Heißprägens von mikro- und nanostrukturierten Optikkomponenten realisiert bzw. optimiert und zur Funktionalisierung der Oberflächen von Kunststoffen in neue Produkte integriert werden. Die in den Verbundprojekten (Nanofab 13N7750 und FUEGO 0003302K7) gewonnenen und in der Fertigung angewandten Erfahrungen sind auch für weitere potentielle Strukturen wie Gitter oder andere diffraktive Elemente sehr nützlich, da diese ähnliche Strukturgrößen aufweisen. Das gilt besonders für die Möglichkeit, in Photoresist strukturierte Originale galvanisch abzuformen sowie eine entwickelte Reinigungsmethode anzuwenden.

Andere Vorarbeiten, die als mögliche Basis zur Weiterentwicklung betrachtet wurden, waren z.B. die 2000 in dem Verbundprojekt, „Mikrostrukturierte Nanokompositschichten zur Herstellung hochpräziser optischer Bauteile hoher Temperaturbeständigkeit und geringer Wärmeausdehnung“ (TMWKF - B409-99001), entwickelte Technologie des Polymer-auf-Glas.

Zu Projektbeginn bestehende Patente und Schutzrechte

Das im Rahmen des Projektes zur Anwendung gekommene Verfahren zur Reduzierung der Grenzflächenreflexion von Kunststoffsubstraten bzw. die Erzeugung von Mastersubstraten für die Herstellung von Werkzeugen zur Abformung von AR-Strukturen waren zu Beginn des Projektes in der patentrechtlichen Anmeldungsphase und sind inzwischen geschützt.

[P1] Fraunhofer Gesellschaft:
Munzert, P. ; Uhlig, H. ; Scheler, M.; Schulz, U.; Kaiser, N.,
„Verfahren zur Grenzflächenreduktion von Kunststoffsubstraten“, Patent DE 10241708

[P2] Fraunhofer Gesellschaft und Fresnel Optics GmbH:
Schulz, U.; Munzert, P.; Kaiser, N.; Hofmann, W.; Bitzer, M.; Gebhardt, M.,
„Verfahren und Werkzeug zur Herstellung transparenter optischer Elemente aus polymeren Werkstoffen“, Patent DE 10318566

Relevante Veröffentlichungen

- [1] AiF Verbundprojekt, „Entspiegelung durch Subwellenlängengitter für Durchmesser von 400mm“, Projektnummer 0003302 K7, 1999
- [2] H. Jänchen, U. Schulz, A. Gombert, „Reduction of reflection losses at PMMA Fresnel lenses“, Conference on Advances in Optical Coatings, Berlin, 1999
- [3] Thüringer Innovationspreis 2000: Entwicklung eines Verfahrens zur Entspiegelung von Kunststoffoberflächen durch Replikation von Mottenaugenstrukturen
- [4] TMWFK Verbundprojekt, „Mikrostrukturierte Nanokompositschichten zur Herstellung hochpräziser optischer Bauteile hoher Temperaturbeständigkeit und geringer Wärmeausdehnung“, Projektnummer B409-99001, 2000
- [5] M. Foley, Reflexite, „Microstructured Plastic Optics for Display, Lighting and Telecommunication Applications“, Rochester NY, Opto-Northeast and Imaging 2001
- [6] VDI-TZ Verbundprojekt, „Herstellung und Replikation großflächiger Subwellenlängengitter und ihre Abformung in Polymere“, Projektnummer 13N7750, 2003
- [7] H.-M. Bitzer, „Techniken zur Abformung von optischen Mikrostrukturen in Kunststoff, Workshop Optonet „Mikrooptische Systeme“, Jena 2003
- [8] M. Gebhardt, „Eigenschaften von AR-Strukturen in kratzfesten Schichten“, 12. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Beschichtung und Modifizierung von Kunststoffoberflächen, Dresden 2004

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern

Die geplanten Demonstratoren und die damit verbundene konsequente Etablierung der nanooptischen Komponenten und der zugehörigen Technologien erforderte eine intensive Zusammenarbeit der Verbundpartner. Im Arbeitspaket „Design, Mastering und Replikation der Komponenten“ wurden zusammen mit den entsprechenden Partnern erste für die Masterherstellung relevante Bearbeitungstechniken und Toleranzfelder diskutiert.

Zusammenarbeit mit Partnern außerhalb des Verbundes

Ursprünglich hatte Fresnel Optics geplant, im Rahmen des Projektes je einen Unterauftrag an das Precision Technology Center (PTC) und an die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) zu vergeben.

In der Zusammenarbeit mit dem PTC ist es aufgrund des frühen Projektendes zwar nicht zum Erstellen eines Masters durch Präzisionsdiamantschneiden gekommen, jedoch wurden galvanische Abformungen von AR-Strukturen und AR-Strukturen auf bestehenden Mikrostrukturen gemacht.

Eine besonders enge Zusammenarbeit wurde während der Projektlaufzeit mit der PTB gepflegt. Zusammen wurden Messaufgaben spezifiziert und die Ergebnisse bewertet.

2. Ausführliche Darstellung der bei Fresnel Optics erzielten Ergebnisse

2.1 Ergebnisse

Die zu Beginn des Projektes aufgeführten Demonstratoren waren vorrangig für Beleuchtungs- und Abbildungsoptiken gedacht. Dabei sollte im Projekt die Kombination von nanooptischen Antireflexstrukturen auf mikrooptischen Kunststoffelementen realisiert werden. Diese Kunststoffelemente sollten unter anderem eine enorme Gewichtsreduktion, Antireflexwirkung bei hoher Einfallswinkelakzeptanz und Kostenersparnis ermöglichen. Mit Hinblick auf diese Ziele wurden von Fresnel Optics folgende Arbeiten im Projektzeitraum durchgeführt:

AP 1: Komponenten: Design, Mastering, Replikation

Da die Eigenschaften der neuartigen Antireflexstrukturen, die durch die Einwirkung hochenergetischer Ionen auf PMMA-Oberflächen erzeugt werden, noch weitgehend unerforscht sind, wurde auf planen PMMA-Proben die Struktur zunächst direkt erzeugt (Abb.1). Dabei wurden einzelne Anlagenparameter wie die Ionenbeschussdauer gezielt variiert, um Erkenntnisse über deren Einfluss auf die Strukturbildung zu erhalten.

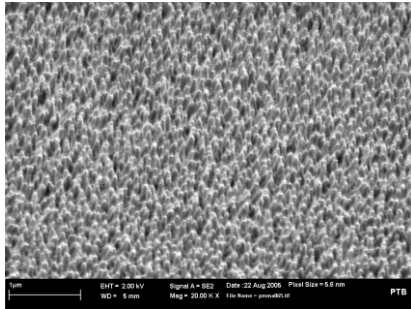


Abb.1: REM-Aufnahme einer durch Ionenbeschuss erzeugten AR-Struktur

Einige Proben wurden spektroskopisch in Transmission vermessen und andere der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt übergeben. Dort wurden sowohl Reflexions- (Abb.2) und Streulichtmessungen gemacht als auch REM-Aufnahmen (Abb.1) zur Sichtbarmachung der Strukturgestalt und ihrer prozessabhängigen Veränderung.

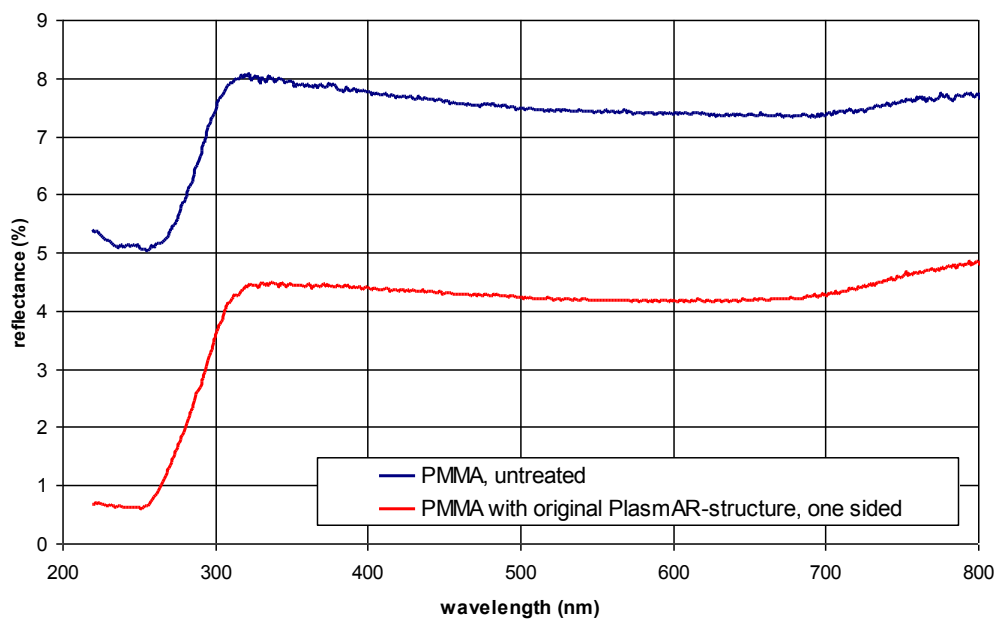


Abb.2: Reflexionsmessung an durch Ionenbeschuss strukturierter PMMA-Oberfläche

Im Ergebnis dieser Untersuchungen zeigte sich, dass die Strukturtiefe mit zunehmender Ionenbeschussdauer (Abb.3) wächst und sich die Reflexionseigenschaften verändern. Die Messungen zeigten dass es über die Steuerung von bestimmten Anlagenparametern möglich ist, die AR-Struktur optimal zu gestalten.

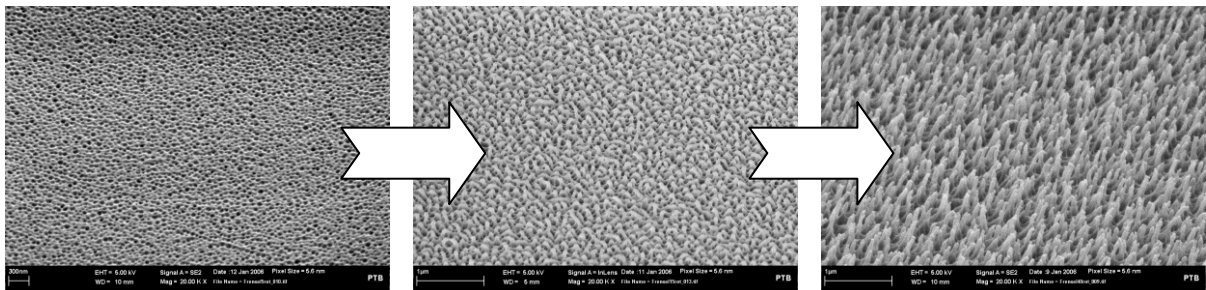


Abb.3: REM-Aufnahmen: Zunahme der Strukturtiefe mit zunehmender Ionenbeschussdauer

Die Untersuchung und Vermessung der einfallswinkelabhängigen Wirkung der AR-Struktur wurde im Berichtszeitraum begonnen, konnte jedoch aufgrund der Beendigung des Projektes nicht abgeschlossen werden.

Da noch kein für die Demonstratoren nutzbares Design vorlag und auch kein anderes geeignetes Master von den Projektpartnern zur Verfügung stand, hat Fresnel Optics ein eigenes Design ausgewählt, um die technologische Kette der Masterfertigung einer Mikrostruktur mit überlagerter Antireflexnanostruktur durchzuführen und zu prüfen. Als Versuchsstruktur wurde eine Integratorlinse (Mikrolinsenarray) ausgewählt, die für ein abbildungsoptisches Gerät konzipiert wurde. Dieses Mikrolinsenarray wurde in PMMA mittels Heißprägen repliziert, dann die Oberfläche durch Ionenbeschuss mit der AR-Struktur modifiziert und im Anschluß daran eine Goldschicht als Startschicht für die Galvanik aufgedampft.

Nach erfolgreicher galvanischer Replikation im Werkzeugfertigungszentrum PTC wurde das so erhaltene Nickelwerkzeug erneut mittels Heißprägen in PMMA abgeformt und die Proben der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zur spektroskopischen Vermessung übergeben. Während die spektroskopischen Messergebnisse die antireflektierende Wirkung bestätigten (Abb.4), zeigten die von solch einer Probe aufgenommenen rasterelektronenmikroskopischen Bilder, das sich tatsächlich die AR-Nanostruktur auf der Mikrostruktur befindet.

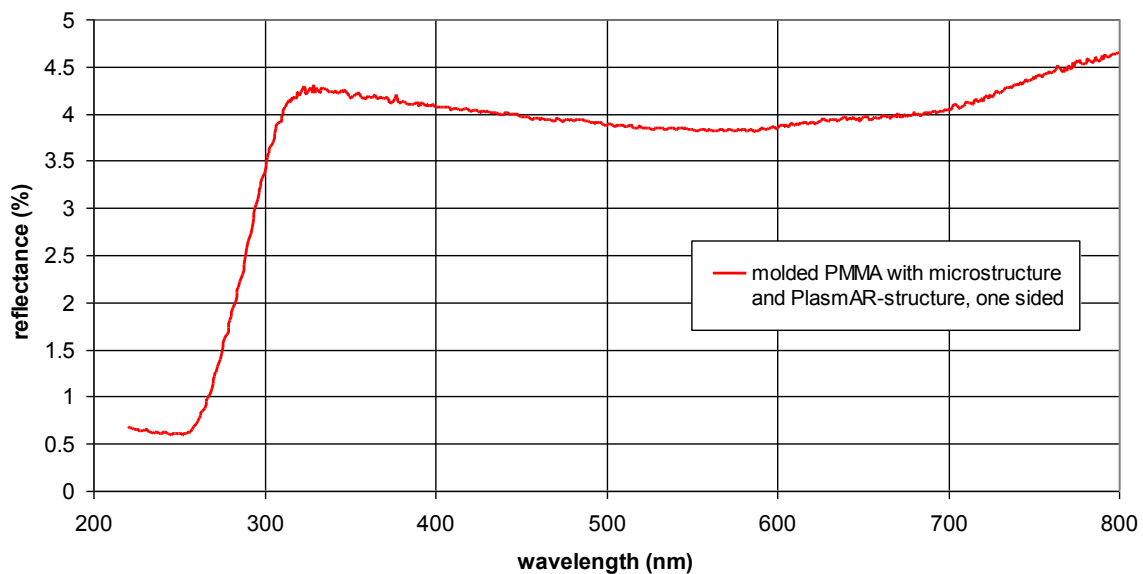


Abb.4: Reflexionsmessung an einer Integratorlinse mit überlagerter PlasmAR-Struktur

Als nächstes wurde die Oberfläche einer in PMMA replizierten Fresnellinse im Direktbeschuss AR-strukturiert, um zu sehen, ob der Modifizierungsprozess auch auf winkligen Oberflächen wirksam ist. Auch von dieser Probe wurden an der PTB elektronenmikroskopische Aufnahmen gemacht. Die Bilder zeigten, dass es deutliche Unterschiede in der Strukturform an unterschiedlich geneigten Flächen gibt. Um diese Erkenntnisse weiter auszubauen und die Wirkungsweise und Entstehung der Nanostruktur auf geneigten Oberflächen wie sie beispielsweise auf einer Fresnellinse zu finden sind, intensiver untersuchen zu können, wurden nun plane Proben in einem Versuchsaufbau mit unterschiedlichen Winkeln (30°, 45°, 60°) zur Ionenquelle strukturiert und damit begonnen, spektroskopische Messungen durchzuführen. Auch diese Proben sollten elektronenmikroskopisch und spektroskopisch von der PTB vermessen werden. Die Auswertung der Ergebnisse war jedoch aufgrund der vorzeitigen Beendigung des Projektes nicht mehr möglich.

Auf der Grundlage der positiven Ergebnisse am oben aufgeführten Mikrolinsenarray wurden erste Informationen mit der Firma Zeiss ausgetauscht bezüglich eines ähnlichen Integratorlinsendesigns mit Entspiegelung zum möglichen Einsatz in Demonstrator 1 und 2.

Des Weiteren wurden erste Gespräche geführt zur Verbesserung und Herstellung eines Bauteils, das im Demonstrator 3 (Life Cell Imaging) zum Einsatz kommen könnte. Es handelt sich hierbei um einen zylindrischen asphärischen Spiegel mit höchsten Anforderungen bezüglich Oberflächengüte und –rauigkeit.

Der Informationsaustausch wurde jedoch in beiden Fällen im Wesentlichen eingestellt als die Fortführung des Projektes mit den angedachten Demonstratoren ausgesetzt wurde.

Im Berichtszeitraum wurden die oben aufgeführten planen AR-strukturierten Proben mit dem Fresnel zur Verfügung stehenden UV/VIS-Spektrometer in Transmission (Abb.5) vermessen. In Abhängigkeit der Ionenbeschussdauer konnte eine Veränderung der transmissionsverbessernden Wirkung festgestellt werden.

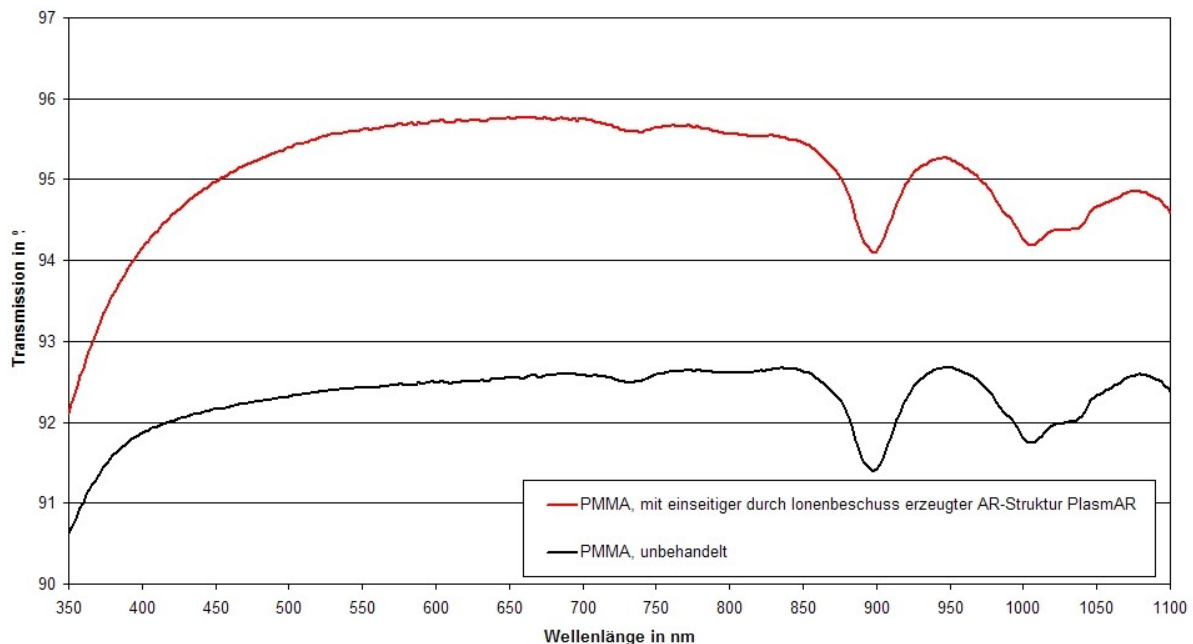


Abb.5: Transmissionsmessung an durch Ionenbeschuss strukturierter PMMA-Oberfläche

2.2 Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse

Durch die während des Projektes durchgeführten Untersuchungen der neuartigen AR-Struktur und ihrer Erzeugung durch Ionenbeschuss im Vakuum konnten grundlegende Erkenntnisse errungen werden, die Fresnel Optics trotz der vorzeitigen Beendigung des Projektes von Nutzen sein werden, da die Kombination von Mikrostrukturen mit antireflektiven Nanostrukturen eine Verbesserung der optischen Funktionalität in vielen Bereichen der Wirtschaft herbeiführen kann. Mögliche Anwendungen sind zum Beispiel in den Bereichen Sensorik, Automotive, Lighting und Machine Vision denkbar.

Eine Schutzrechtsanmeldung durch Fresnel Optics ist nicht erfolgt bzw. geplant. Für die gemäß Punkt 1.3 geschützte neuartige AR-Struktur wurde jedoch ein Handelsname angemeldet. Der Name PlasmAR® ist ab 01.03.2006 offiziell als Trademark in der EG registriert.

Apolda, 16.06.06

Marion Gebhardt
Projektleiter